ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КВАРЦЕВЫХ ЖИЛ И РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ БЕРЕЗОВСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (СРЕДНИЙ УРАЛ)

Поленов Ю.А., Огородников В.Н., Бабенко В.В.
Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

В настоящей статье по материалам авторов с широким использованием опубликованных работ других исследователей рассмотрены особенности геологического строения Березовского золоторудного месторождения (Средний Урал). Фактические материалы проанализированы с учетом новых геотектонических и минерагенических концепций и современных методов исследования вещества.

Березовское рудное поле по данным В.М. Алешина, И.С. Биянова, Д.С. Вагшаля и др. (1972) [1] сложено вулканогенно-осадочными породами, условно относимыми к силуру, в которых выделяются ландоверийский и венлокский ярусы. Принадлежат эти толщи к аспидной, базальтовой и кремнистой формациям, возникшим в геотектонической обстановке океанического спрединга. Аспидная формация представлена породами ландовери. Распространена она незначительно. Породы ландовери обнажаются в южной части и отделяют южный пластообразный массив гипербазитов от северного. Это углисто-кремнистые, углисто-кварцевые филлитизированные сланцы. Мощность более 200 м.

Отложения венлокского яруса принадлежат к базальтовой формации. Они делятся на нижний и верхний подъярусы. Породы нижнего подъяруса обнажаются широкой дугообразной полосой в центральной части карты. Выделяются туфопесчаники, туффиты, вулканиты с вариолитовыми микроструктурами, а выше туффиты, туфопесчаники, чередующиеся с туфогравелитами, базальтовыми афиритами. Мощность 800-850 м. Верхний подъярус - диабазовая толща - тесно ассоциирует с мелкими телами серпентинитов. Породы подъяруса распространены в северной и восточной половинах карты. Мощность 250 - 300 м.

Кремнистая формация – это породы верхнего силура (условно), которые обнажаются на северо-востоке и согласно перекрывают отложения верхнего венлока. Они сложены углисто-кремнистыми сланцами, глинисто-кремнистыми породами, аргиллитами, алевролитами. Породы слабо метаморфизованы. Мощность формации не менее 300 м.

Субвулканические образования базальтовой формации средне-верхнедевонского возраста относятся к габбро-диабазам. В центральной части поля залегает кососекущее по отношению к сланцеватости вмещающих пород тело, имеющее ограниченную вертикальную мощность.

Широко распространены интрузивные породы, они относятся к трем формациям: дунит-гарцбургитовой, габбровой и тоналит-гранодиоритовой.

К дунит-гарцбургитовой формации океанического спрединга принадлежат Шарташский и Пышминско-Березовский гипербазитовые массивы, условно относимые к силуру. Они слагаются серпентинитами, тальково-карбонатными породами. Пышминско-Березовский массив охватывает полукольцом с севера и востока рудное поле, а Шарташский окаймляет его с юга. Шарташский массив представлен двумя параллельными телами, мощностью от 70 до 260 м, залегающими согласно с породами ландоверийского яруса и отделяющими их от пород венлока. Пышминско-Березовский массив ограничен с севера интрузией габбро, а с юга диабазами венлока. Он представляет собой тело, подающее на север под углом 40-45^0. Контакт гипербазитов с вмещающими породами рассланцован. Апофиза этого массива, секущая отложения венлока в виде пластообразного тела с пологим падением к юго-западу, прослеживается в северо-восточной части рудного поля. Мощность тела меняется от 200 до 70 м.

Габбровая формация представлена Пышминско-Березовским массивом габбро. Это пластообразное тело мощностью 600-800 м, падающее на север под углом 40^0, примыкает

к описанному массиву гипербазитов с севера. На контакте их наблюдается послойное чередование серпентинитов с полосчатым среднезернистым габбро. Возраст габбро по аналогии с более северными районами определен как нижнедевонский.

В пределах рудного поля выделяются дайки основного и кислого составов.

Дайки основного состава принадлежат к габбровой формации: габбро, габбро-диабазы и жильные диабазы, тяготеют к Пышминско-Березовскому массиву, а также распространены среди эффузивов базальтового состава. Для даек габбро характерно простирание, близкое к широтному, и северное падение под углом 60-80^0, мощность их от 1-2 до 30-40 м. Дайки габбро-диабазов и жильных диабазов более распространены. Большинство их имеет субмеридианальное простирание: мощность от 5 до 50 м. Эти образования принадлежат к геотектонической обстановке океанического спрединга формирования рудного поля.

Дайки кислого состава относятся к тоналит-гранодиоритовой формации и являются продуктами коллизионной геотектонической обстановки. По данным геологов Березовского рудника, они разделяются на шесть разновозрастных серий, образующих два пояса: западный, падающий на восток, и восточный, падающий на запад. Дайки прорывают все породы Березовского рудного поля.

Дайки вмещают лестничные жилы в оторочке березитов, ориентированные по нормали к зальбандам даек. Кроме лестничных, на месторождении развиты красичные жилы в оторочке лиственитов. Они представляют собой разности лестничных жил, вышедших за пределы даек во вмещающие их породы, или же не имеющих непосредственной связи с жилами даек.

Складчатые структуры рудного поля определяются Шарташской гранитной интрузией, образующей ядро брахиантиклинали; рудное поле расположено на северном замыкании этой складки. Вулканогенно-осадочные породы падают подобно контакту гранитов.

Березовское рудное поле в тектоническом отношении приурочено к грабену, образованному долгоживущими разломами, меридионального простирания. Северной и верхней границей рудного поля являются гипербазиты и габбро Пышминско-Березовского массива; южной - граниты Шарташского массива, нижней, вероятно, плагиогнейсы и гнейсы протеро-палеозойского возраста. Месторождение приурочено к толще пород венлокского и ландоверийского возраста, что определяется соотношениями физико-механических свойств вмещающих пород и даек.

Многочисленные и разнообразные по минеральному составу и условиям залегания кварцевые жилы Березовского золоторудного месторождения в процессе долголетнего изучения и отработки детально исследованы и классифицированы. Устоявшиеся представления о типизации кварцевых жил месторождения весьма утилитарны и не отличаются значительными разногласиями.

П. И. Кутюхин выделил на площади Березовского рудного поля два генетических типа оруденения – вольфрамовое и золотоносное, для которых характерны свои типы кварцевых жил: для вольфрамовой рудной формации – кварцево-турмалино-шеелитовые жилы, а для золотоносной рудной формации – кварцево-карбонатно-сульфидные жилы. П.И. Кутюхин выделенные группы жил рассматривает как самостоятельные генетические типы [5].

Н. И. Бородаевский и М. Б. Бородаевская [3] по наиболее распространенным ассоциациям рудных и жильных минералов подразделили кварцевые жилы Березовского рудного поля на жилы шеелитоносной (кварцево-турмалиновой) и жилы золотоносной (полиметаллической) формаций.

На площади Березовского рудного поля ограниченное распространение имеют пирофиллитсодержащие кварцевые жилы. Упоминание о таких жилах имеются в работах П. И. Кутюхина [5], В. Н. Сазонова и др. [9]. Более детально они разобраны в работе А. М. Юминова (2001).

Новые результаты многочисленных изучений минералов месторождения тонкими методами исследований, опубликованные в открытой печати, и большой фактический материал, собранный авторами при полевых и лабораторных исследованиях, по изучению кварцево-жильных образований кварцевых и золоторудных месторождений Урала позволяют предложить некоторые новые подходы к интерпретации генезиса кварцевых жил и закономерностей их размещения на площади месторождения.

1. Большинство исследователей уральские золоторудные месторождения кварцево-жильного типа связывают с массивами гранитоидов тоналит-гранодиоритовой формации [9, 11]. В последние десятилетия получены убедительные доказательства генетической связи Березовского месторождения, располагающегося в надинтрузивной зоне Шарташского гранитного массива, со становлением этого массива [11].

Шарташский массив по всем характеристикам и времени образования очень близок с крупным Верхисетским габбро-тоналит-гранодиорит-гранитным батолитом [11]. По данным исследователей эти массивы являются надсубдукционными образованиями окраин континентов. Возраст адамеллитов Шарташского массива, определенный рубидий-стронциевым методом, составляет 328±18 млн лет [12]. Время формирования гранитов второй интрузивной фазы отвечает конкордантному U-Pb возрасту циркона 302±3 млн. лет [8]. Гранитоиды Шарташского массива являются следствием многократного ступенчатого анатексиса, связанного с процессами субдукции. Как отмечает Г.Б. Ферштатер [11], палеозойский анатексис на Урале протекал в условиях близких к флюидонасыщенным, а характерной особенностью рудоносных комплексов является длительность их формирования. При этом продолжительность каждого эпизода интрузии невелика, основное время требуют процессы анатексиса и предшествующего ему разогрева протолита [11]. По нашим представлениям этим обстоятельством обусловлена многократная дискретность поступления флюидов для формирования кварцевых жил и рудной минерализации. Формирование Березовского золоторудного месторождения протекало в интервале 314-285 млн лет [12] и 305-285 млн. лет [8].

2. Формирование даек проходило, когда апикальная часть массива уже находилась в консолидированном состоянии как в гранитах, так и во вмещающих породах. В условиях сжатия в широтном направлении и растяжения в меридиональном сформировались семь серий даек: плагиосиенит-порфиров, плагиогранит-порфиров I цикла, гранит-порфиров I цикла, лампрофиров I цикла, гранит-порфиров II цикла, плагиогранит-порфиров II цикла, лампрофиров II цикла. По данным Д. С. Штейнберга [12] возраст лампрофиров I цикла Березовского месторождения 316-306 млн. лет.

3. К одной из нерешенных проблем относится образование кварцевых жил шеелитоносной формации (кварцево-шеелит-турмалиновые жилы). П. И. Кутюхин [5] убедительно показал, что плагио-сиенит-порфировая дайка Ост в двух местах пересекает шеелитсодержащую жилу № 1, сложенную плитчатым кварцем. Фактический материал П. И. Кутюхина [5], Н. И. Бородаевского [3] и наши наблюдения на Айдырлинском и Великопетровском золото-вольфрамовых месторождениях убеждают в том, что плитчатый кварц является метасоматическим по генезису и развит по выдержанным тектоническим зонам. Многие исследователи документируют на площади месторождения догранитные широтные тектонические зоны, по которым в период регионального метаморфизма прошло прокварцевание с образованием метасоматических кварцитов. В дальнейшем, а именно в этап формирования кварцевых жил золотоносной формации, происходило раскрытие зон окварцевания и внедрение в плиточный кварц флюида, приведшего к заполнению центральных частей жил молочно-белым крупно-гигантозернистым кварцем, итогом чего и явилось формирование кварцевых жил шеелитоносной (кварцево-турмалиновой) формации. В дальнейшем эти кварцевые жилы претерпели все стадии наложения шеелитовой и золотой минерализаций.

4. Интенсивное объемное метасоматическое преобразование в виде лиственитизации-березитизации дайки гранитоидов претерпели под воздействием глубинного высоко-

температурного гидротермального флюида [9]. Всем этим процессам предшествовали импульсы тектонических подвижек [1, 2]. Одновременно с березитизацией даек гранитоидов в эндо- и экзоконтакте кровли Шарташского массива по тектоническим трещинам прошли метасоматические процессы с образованием эйситов и гумбеитов [9].

5. Кварцевые жилы шеелитовой и золотоносной формаций, являются телами сложного генезиса. Изучение состава и строения сульфидно-кварцевых жил позволяет выделить в них ряд последовательно образовавшихся минеральных ассоциаций, соответствующих определенным стадиям рудообразования: анкерит-кварцевую, пирит-кварцевую, полиметаллическую и карбонатную. Первая из них является незолотоносной, вторая— слабозолотоносной, третья — высокозолотоносной, наиболее продуктивной и четвертая — вновь незолотоносной [5, 10]. Для жил шеелитоносной формации добавляется еще стадия плитчатого кварца (кварцита), возраст которой додайковый.

6. Большую путаницу в классификацию кварцевых жил месторождения вносит неопределенность времени кристаллизации шеелита в кварцевых жилах. Детальное картирование жил показало, что шеелит является характерным минералом для всех типов жил шеелитовой и золотоносной формаций. Шеелит во всех жилах является наложенным минералом на жильный кварц первой генерации, а также сопровождает и минерализацию основной стадии золотоотложения.

Шеелит является минералом, сквозным для Березовского месторождения, и встречается он в жилах, расположенных в высокотемпературной зоне, окружающей Шарташский гранитный массив. По данным проведенного подземного минералогического картирования, в жилах сульфидно-кварцевого состава с глубиной наблюдается заметное увеличение общего количества шеелита (на 10—20%). Подобная картина имеет место и на поверхности в связи с приближением рудных тел к Шарташскому гранитному массиву [10].

7. Для Березовского золоторудного месторождения характерно присутствие в кварцевых жилах шеелита, а не вольфрамита. По данным С. А. Коренбаума [4] вольфрамит образуется при пониженных температурах, при которых он обладает достаточно высокой устойчивостью не только в кислых, но и близнейтральных средах. При этом решающим фактором, определяющим появление в рудах шеелита или вольфрамита, является концентрация серы. На участках с низкой ее концентрацией в ассоциации с магнетитом, железистым хлоритом и т. д. может образовываться вольфрамит, при повышенных концентрациях серы в ассоциации с сульфидами кристаллизуется шеелит, что и наблюдается в кварцевых жилах золотоносной формации.

Почти полное отсутствие вольфрамита в жилах месторождения свидетельствует об относительно высокой щелочности флюидов и отсутствии в гидротермальных растворах фтора в повышенных количествах, который препятствует кристаллизации шеелита, что подтверждает отсутствие генетической связи шеелита с гранитами поздней коллизии, содержащими повышенное количество фтора.

8. Характерной особенностью красичных и полосовых жил является обилие первичных друзовых пустот. По генезису эти кварцевые тела следует относить к минерализованным полостям, генетически связанными с раннеколлизионными кварцевыми жилами рудного поля [7, 9]. Как показано В.В. Бабенко [2], движение флюидов осуществлялось по тектоническим трещинам, приоткрывание которых шло, главным образом, по поверхностям лежачих боков даек гранитоидов. Поскольку мощность жил весьма малая, то, значит, и раскрытие трещин было незначительным. В таких условиях после поступления кремнийсодержащего флюида подводящие каналы могли захлопываться, и дальнейшая кристаллизация проходила в закрытой системе. В таких условиях формируются кварцевые жилы выполнения, а недостаток во флюиде SiO_2 приводит к созданию остаточных полостей. С глубиной отработки месторождения количество и размеры полостей уменьшается, поскольку ближе к источнику флюида выполнение трещин кварцем было наиболее интенсивным. Друзовые пустоты в данных жилах являлись очень часто местом локализации золотоносных сульфидов [5].

9. Кварцевые жилы Березовского месторождения с остаточными хрусталеносными полостями, заполненными рудными минералами, относятся к образованиям ранней коллизии, а время их формирования 305 – 285 млн. лет [8], в то время как хрусталеносные полости уральских промышленных месторождений горного хрусталя являются производными процессов поздней коллизии, и их возраст датируются в районе 250 млн. лет [7]. Прямые доказательства наличия на месторождении наложенных хрусталеносных полостей поздней коллизии привести трудно. Тем не менее, косвенные подтверждения имеются.

10. Руды Березовского рудного поля малосульфидные (содержание сульфидов не превышает 3 - 5 %). Золото представлено самородной и тонкодисперсной (в сульфидах) формами. Пробность золота колеблется в пределах 840 - 980 [6, 9]. На северном фланге Березовского месторождения, в шахте Северной, на горизонте 520 м было вскрыто гнездо с большим количеством самородков. Наиболее крупный из них весил 600 г. Самородки золота образовались при Т = 160 - 200 °С и ритмической вариации давления в незначительном интервале Р = 0,4 - 0,2 кбар [6]. В результате нестабильности давления проявлялся дроссельный эффект, послуживший основой для отложения в лестничных жилах ураганных количеств золота.

ВЫВОДЫ

1. Образование Березовского месторождения, располагающегося в надинтрузивной зоне Шарташского гранитного массива, обусловлено многократным ступенчатым анатексисом, связанными с процессами субдукции и коллизии. Березовское месторождение является классическим золоторудным объектом кварцево-жильного типа полихронного и полигенного образования.

2. Кварцевые жилы месторождения подразделяются по времени их образования на дорудные, рудные и пострудные. К первым относятся кварцевые образования метасоматического происхождения, выразившиеся в окварцевании пород по тектоническим зонам с образованием кварцитов, по которым в дальнейшем сформировался плитчатый кварц. По онтогеническим признакам эти кварцевые образования относятся к телам замещения.

Все рудные кварцевые жилы, несущие шеелитовую и золотую минерализации, сформировались как кварцевые тела выполнения в одно время, которое все исследователи определяют как стадию жильного кварца. Источником кремнезема для образования кварцевых жил являлся, прежде всего, магматогенный кварц гранитоидов, переходящий во флюид (раствор) и обогащающий его кремнеземом в пневматолитовую и гидротермальную стадии кристаллизации гранитных массивов [7, 9, 11]. Пострудными телами выполнения, сформировавшиеся в этап поздней коллизии, являются турмалин-пирофиллит-кварцевые жилы [7, 9].

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований № 14-23-24-27 Президиума РАН и Интегрального проекта «Развитие минерально-сырьевой базы России ...», руководитель проекта академик В. А. Коротеев. Исследования проводились при частичной поддержке госбюджетной темы Г-3 (УГГУ). «Исследование генетических типов месторождений…», руководитель профессор В. Н. Огородников.

Литература

1. *Бабенко В.В.* О рудоконтролирующих деформациях Березовского месторождения // Изв. ВУЗов. Горный журнал, 1975, № 10. С. 3-8.

2. *Бабенко В.В.* Структурные условия размещения и зональность оруденения Березовского месторождения (Урал) // Изв. АН СССР. Сер. Геологическая, 1978, № 10. С. 114-126.

3. *Бородаевский Н.И., Бородаевская М.Б.* Березовское рудное поле. М.: Металлургиздат, 1947. 264 с.

4. *Коренбаум С. А.* Физико-химические условия кристаллизации минералов вольфрама и молибдена в гидротермальных средах. М.: Изд-во Наука, 1970. 212 с.

5. *Кутюхин П.И.* Условия локализации оруденения в жилах Березовского месторождения // 200 лет золотой промышленности Урала. Свердловск: Изд-во УФАН АН СССР, 1948. С. 249-275.
6. *Мурзин В. В., Малюгин А. А.* Типоморфизм золота зоны гипергенеза. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987. 96 с.
7. *Поленов Ю.А.* Эндогенные кварцево-жильные образования Урала: научное издание. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2008. 269 с.
8. *Прибавкин С.В., Монтеро П., Беа Ф., Ферштатер, Г. Б.* U-Pb возраст пород и оруденения Березовского золоторудного месторождения (Средний Урал) // Ежегодник-2011 / Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 159. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2012. С. 211-217.
9. *Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Коротеев В.А., Поленов Ю.А.* Месторождения золота Урала. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2001. 622 с.
10. *Самарцев И.Т., Захваткин В.А, Казимирский В.Ф. и др.* О зональности Березовского золоторудного месторждения на Среднем Урале // Изв. АН СССР. Сер. геологическая, 1970, № 6. С. 86-90.
11. *Ферштатер, Г. Б., Холоднов В. В., Кременецкий А. А. и др.* Магматический контроль гидротермального золотого оруденения на Урале // Эндогенное оруденение в подвижных поясах. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2007. С. 181-184.
12. *Штейнберг Д. С., Ронкин Ю.Л., Куруленко Р.С. и др.* Rb-Sr возраст пород Шарташского интрузива и дайкового комплекса // Ежегодник 1988. Свердловск: ИГГ УрО РАН, 1989. С. 110-112.